

# Device for estimation of state of road surfaces has sensor for detection of wheel speed and output of speed signal plus sections for estimation of characteristic and physical parameters

Publication number: DE10150850

Publication date: 2002-05-02

Inventor: ONO EIICHI (JP); UMEMO TAKAJI (JP); SUGAI MASARU (JP); TANAKA AKIRA (JP); YASUI YOSHIYUKI (JP); SAWADA MAMORU (JP)

Applicant: TOYOTA MOTOR CO LTD (JP)

Classification:

- international: *G01P3/50; B60R16/02; B60T8/172; B60T8/173; B60T8/1763; G01N19/02; G01P3/42; B60R16/02; B60T8/17; G01N19/02; (IPC1-7): B60T8/58*

- european: B60T8/172; B60T8/173; G01N19/02

Application number: DE20011050850 20011015

Priority number(s): JP20000315836 20001016

Also published as:



US6640623 (B2)

US2002059824 (A1)

JP2002120709 (A)

Report a data error here

## Abstract of DE10150850

A device for the estimation of a state of road surfaces has a wheel speed sensor for the detection of the wheel speed and for the output of a wheel speed signal. The device also has a section for the estimation of a characteristic parameter of the wheel speed frequency in order to estimate a characteristic parameter of the wheel speed frequency on the basis of the wheel speed signal which reproduces a follow-up frequency of transmission characteristics by a road disturbance onto the wheel speed; and - a section for the estimation of a physical parameter in order to estimate a physical parameter from the estimated characteristic parameter of the wheel speed frequency that reproduces a road state.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 101 50 850 B4 2006.01.05

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 101 50 850.6  
(22) Anmeldetag: 15.10.2001  
(43) Offenlegungstag: 02.05.2002  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 05.01.2006

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B60T 8/58** (2006.01)  
**B60T 8/56** (2006.01)  
**B60T 8/32** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
00-315836 16.10.2000 JP

(73) Patentinhaber:  
Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha, Toyota, Aichi,  
JP

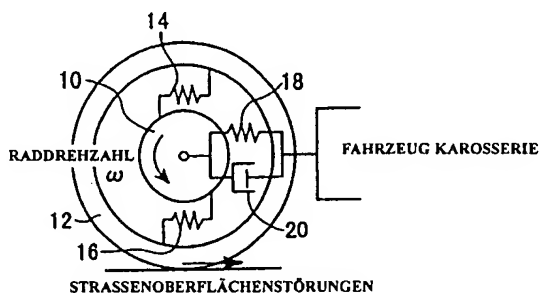
(74) Vertreter:  
WINTER, BRANDL, FÜRNISS, HÜBNER, RÖSS,  
KAISER, POLTE, Partnerschaft, 85354 Freising

(72) Erfinder:  
Ono, Eiichi, Aichi, JP; Umeno, Takaji, Aichi, JP;  
Sugai, Masaru, Aichi, JP; Tanaka, Akira, Toyota,  
Aichi, JP; Yasui, Yoshiyuki, Nagoya, Aichi, JP;  
Sawada, Mamoru, Kariya, Aichi, JP

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 195 43 928 C2  
DE 196 02 170 A1  
DE 195 45 013 A1  
JP 2000-1 18 375 A  
JP 11-78 843 A  
=EP 08 91 904 A2

(54) Bezeichnung: **Strassenoberflächenzustandsabschätzungsvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Abschätzung eines Straßenoberflächenzustands, die aufweist:  
einen Raddrehzahlsensor zum Erfassen der Raddrehzahl und zur Ausgabe eines Raddrehzahlsignals;  
einen Abschnitt zum Abschätzen einer charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz auf der Grundlage des Raddrehzahlsignals, die eine Folgefrequenz von Übertragungscharakteristiken von einer Straßenstörung auf die Raddrehzahl wiedergibt; und  
einen Abschnitt zum Abschätzen einer physikalischen Größe aus der abgeschätzten charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz, dadurch gekennzeichnet, dass die physikalische Größe den Straßenoberflächenzustand wiedergibt.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Straßenoberflächenzustandsabschätzungsvorrichtung und, noch genauer, auf eine Straßenoberflächenzustandsabschätzungsvorrichtung (eine Vorrichtung zum Abschätzen des Zustands einer Straßenoberfläche), die eine physikalische Größe abschätzt, die einen Zustand einer Straßenoberfläche wiedergibt, wie einen Bremskraftgradienten und einen Antriebskraftgradienten in einem Bereich geringen Schlupfs, der einen Bereich gleichmäßiger Fahrt aufweist.

### Stand der Technik

**[0002]** Die veröffentlichte japanische Patentanmeldung JP 2000-118375 A offenbart eine ABS-Vorrichtung zum Abschätzen eines Bremsmomentgradienten (den man durch Multiplizieren eines Bremskraftgradienten mit einem Quadrat eines effektiven Radradius erhält) von einem Raddrehzahlsignal, und zum Maximieren der Bremskraft durch Steuern des abgeschätzten Bremsmomentgradienten so, dass er mit einem Zielwert nahe Null zusammenfällt. In dieser Vorrichtung wird der Bremsmomentgradient auf der Grundlage eines Radverzögerungsbewegungsmodells abgeschätzt, das durch die folgende Gleichung (1) wiedergegeben wird, wobei der Bremsmomentgradient und damit der Bremskraftgradient in einem Grenzbereich, in dem eine Radverzögerungsbewegung dominiert, genau abgeschätzt werden kann.

$$\dot{v}_w = -\frac{kR_c^2}{J} \dot{v}_w + w \quad (1)$$

wobei  $v_w$  eine Raddrehzahl (m/s) wiedergibt;  $w$  eine Straßenoberflächenstörung wiedergibt;  $k$  einen Bremskraftgradienten (Ns/m) wiedergibt;  $R_c$  einen wirksamen Radradius (m) wiedergibt; und  $J$  ein Trägheitsmoment eines Fahrzeugs wiedergibt.

**[0003]** In einem Bereich niedrigen Schlupfs, in dem der Bremskraftgradient vergleichsweise groß ist, wird jedoch die Radverzögerungsbewegung durch eine Aufhängungslängsresonanz beeinflusst, die eine Resonanz ist, die bei ungefähr 15 Hz erzeugt wird, und durch eine Reifendrehungsresonanz, die eine Resonanz ist, die bei ungefähr 40 Hz erzeugt wird. Daher besteht das Problem, dass es nicht möglich ist, den Bremskraftgradienten im Bereich geringen Schlupfs durch die Technik abzuschätzen, bei welcher der Bremsmomentgradient auf der Grundlage der Gleichung (1) abgeschätzt wird.

**[0004]** Die DE 195 43 928 C2, die als nächstkommender Stand der Technik angesehen wird, lehrt, Aquaplaning eines Reifens auf einer nassen Straßenoberfläche zu erfassen und entweder den Fahrer darüber zu informieren oder regelnd einzugreifen. Die Erfassung wird durch Erfassen und Auswerten von Frequenzen einer Reifenrotationsschwingung durchgeführt.

**[0005]** Die DE 195 45 013 A1 offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Abschätzen eines Zustands einer Straßenoberfläche, bei dem mit Hilfe zusätzlicher Schwingungssensoren bei der Fahrbewegung des Kraftfahrzeugs entstehende Geräusch- und Schwingungsspektren aufgenommen, analysiert und zur Gewinnung von Informationen über die Fahrbahnbeschaffenheit oder Fahrsituation ausgewertet werden.

**[0006]** Die DE 196 02 170 A1 offenbart ein Verfahren zum Bestimmen des Straßenzustands, das im wesentlichen darauf basiert, dass aufgrund von Signalen der Radsensoren eine Referenz-Fahrzeugbeschleunigung ermittelt wird. Dieses Signal wird mit der Karosseriebeschleunigung, die über einen Beschleunigungssensor an der Fahrzeugkarosserie ermittelt wird, verglichen, wobei das Differenzsignal einer Frequenzanalyse zugeführt wird. Die Frequenzanalyse ermöglicht es, Ereigniskriterien abzuleiten, welche die Fahrwegbedingungen angeben.

**[0007]** Die veröffentlichte japanische Patentanmeldung JP 11-78843 A offenbart eine Radzustandsabschätzungsvorrichtung, wobei ein Bremskraftgradient auf der Grundlage eines Reifendrehungsschwingungsmodells abgeschätzt wird. Durch Feststellen, dass die Resonanzcharakteristik der Reifenrotationsschwingung schärfer wird, wenn der Bremskraftgradient größer wird, wird ein Dämpfungskoeffizient der Reifenrotationsschwingung identifiziert, um den Bremskraftgradienten abzuschätzen.

### Aufgabenstellung

**[0008]** In einem Fall des Bremsens, in dem der Bremskraftgradient klein wird, wird jedoch keine Reifenrotationsschwingung erzeugt, weil die Radverzögerungsbewegung dominant wird. Daher besteht im vorstehend be-

schriebenen Stand der Technik ein Problem darin, dass der Bremskraftgradient in einem Fall des Bremsens, bei dem keine Schwingung der Reifenrotation auftritt, nicht abgeschätzt werden kann.

[0009] Die vorliegende Erfindung wurde gemacht, um das vorstehende Problem zu lösen. Die Erfindung schafft eine Straßenoberflächenzustandsabschätzungsvorrichtung, die eine physikalische Größe abschätzt, die einen Straßenoberflächenzustand in einem Bereich geringen Schlupfs wiedergibt, der einen Bereich gleichförmiger Fahrt aufweist, wie einen Bremskraftgradienten, einen Antriebskraftgradienten oder einen Straßenoberflächenreibungsgradienten bzw.  $\mu$ -Gradienten.

[0010] Im Folgenden werden die Grundlagen der vorliegenden Erfindung beschrieben. Wie in **Fig. 1** gezeigt, kann ein Radresonanzsystem durch ein dynamisches Modell wiedergegeben werden, in dem Torsionsfederelemente **14** und **16** eines Reifens mit jeweiligen Federkonstanten  $K_1$  und  $K_2$  zwischen einer Felge **10** und einem Reifenmantel bzw. Gürtel **12** eingesetzt sind, und in dem ein Aufhängungs- bzw. Federungselement, in dem ein Federelement **18** mit einer Federkonstante  $K_3$  parallel mit einem Dämpfer **20** verbunden ist, zwischen der Felge **10** und einer Fahrzeugkarosserie eingefügt ist. In diesem Modell wird eine Störung von der Straßenoberfläche (Straßenoberflächenstörung) vom Mantel **12** über die Federelemente **14** und **16** auf die Felge **10** übertragen, beeinflusst eine Raddrehzahl  $\omega$ , und wird über das Aufhängungselement an die Fahrzeugkarosserie übertragen.

[0011] Nun erfolgt die Beschreibung der Beziehung zwischen dem Bremskraftgradienten und einer charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz, welche die Nachfolgefrequenz der Übertragungscharakteristik von einer Straßenoberflächenstörung auf die Raddrehzahl unter Nutzung eines vollständigen Radmodells fünfter Ordnung wiedergibt, in dem eine Radverzögerungsbewegung erster Ordnung, eine Längsrichtungsaufhängungsresonanz zweiter Ordnung und eine Reifendrehungsresonanz zweiter Ordnung integriert sind. Der Bremskraftgradient wird, wie in **Fig. 2** gezeigt, durch einen Gradienten einer Tangente einer Kurve wiedergegeben, die eine Beziehung zwischen einer Bremskraft und einer Schlupfgeschwindigkeit (oder einem Schlupfverhältnis) wiedergibt.

[0012] **Fig. 3** ist ein Schaubild eines Verstärkungsfaktors, das die Frequenzantworten der Raddrehzahl auf eine Straßenoberflächenstörung für Bereiche von einem Grenzbremsbereich bis zu einem Bereich niedrigen Schlupfs zeigt, wobei es eine Spanne für Reifencharakteristiken (d.h. für Bereiche von einem Bereich, bei dem der Bremskraftgradient 300 Ns/m ist, zu einem Bereich, bei dem der Bremskraftgradient 10.000 Ns/m ist) gibt. Das heißt, das Schaubild zeigt die Beziehung zwischen der Frequenz und der Verstärkung der Amplitude der Raddrehzahl mit Bezug auf die Amplitude der Straßenoberflächenstörung.

[0013] Die Raddrehzahlfrequenzcharakteristik in **Fig. 3** zeigt, dass die Verstärkung für den Bereich, in dem der Bremskraftgradient vergleichsweise klein ist, wie nahe der Grenze der Reibkraft zwischen einer Straße und einem Reifen in einem Bereich niedriger Frequenz groß ist und in einem Bereich hoher Frequenz klein ist. Insbesondere ist für den Bereich, in dem der Bremskraftgradient vergleichsweise klein ist, die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz, die einen Unterschied zwischen der Verstärkung im Bereich niedriger Frequenz und der Verstärkung im Bereich hoher Frequenz wiedergibt, groß.

[0014] Dagegen ist die Verstärkung im Bereich niedriger Frequenz für den Bereich in den Raddrehzahlfrequenzcharakteristiken, in dem der Bremskraftgradient vergleichsweise groß ist, wie einem Bereich gleichförmigen Fahrens, viel kleiner im Vergleich zu dem Bereich, in dem der Bremskraftgradient vergleichsweise klein ist. Zudem ist im Hochfrequenzbereich die Verstärkung für den Bereich, in dem der Bremskraftgradient vergleichsweise groß ist, nicht viel kleiner als die Verstärkung für den Bereich, in dem der Bremskraftgradient vergleichsweise klein ist, und zwar aufgrund des Einflusses der erzeugten Drehungsresonanz des Reifens (nahe 40 Hz). Daher ist in dem Bereich, in dem der Bremskraftgradient vergleichsweise groß ist, die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz klein. Ebenso ändert sich eine charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz, die einen Unterschied zwischen einem Schwingungspegel eines Raddrehzahlsignals im Niederfrequenzbereich und einem Schwingungspegel eines Raddrehzahlsignals im Hochfrequenzbereich wiedergibt, ähnlich wie die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz, die den Unterschied zwischen der Verstärkung im Niederfrequenzbereich und der Verstärkung im Hochfrequenzbereich wiedergibt.

[0015] Aus dem Vorstehenden ist klar, dass die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz, die den Unterschied zwischen der Verstärkung im Niederfrequenzbereich und der Verstärkung im Hochfrequenzbereich wiedergibt, oder die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz, die den Unterschied zwischen dem Schwingungspegel des Raddrehzahlsignals im Niederfrequenzbereich und dem Schwingungspegel des Raddrehzahlsignals im Hochfrequenzbereich wiedergibt, mit dem Steigen des Bremskraftgradienten fällt. Un-

ter Nutzung dieser Charakteristik kann der Bremskraftgradient aus der charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz abgeschätzt werden.

**[0016]** Mit Bezug auf das Frequenzband nahe 40 Hz in Fig. 3, in dem die Drehresonanz des Reifens auftritt, ist die Spitzenwellenform der Drehresonanz des Reifens um so schärfer, je größer der Bremskraftgradient ist. Zudem bewegt sich die gesamte Frequenzcharakteristik der Spitzenwellenform zu einem höheren Frequenzbereich, wenn der Bremskraftgradient größer wird.

**[0017]** Insbesondere kann verstanden werden, dass eine Knickpunktfrequenz mit einer Vergrößerung des Bremskraftgradienten, wie in Fig. 6 gezeigt, größer wird, wenn die Radcharakteristik mit einem Verzögerungsmodell erster Ordnung angenähert wird. Daher ist es möglich, den Bremskraftgradienten aus der charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz abzuschätzen, welche die Nachfolgefrequenz der Übertragungscharakteristik von Straßenstörungen auf die Raddrehzahl wiedergibt, indem die Radcharakteristiken mit dem Verzögerungsmodell erster Ordnung angenähert werden und die Knickpunktfrequenz (als die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz) abgeschätzt wird, die eine Frequenz ist, bei der die Verstärkung von einem Wert in einem vorherbestimmten Bereich auf einen Wert außerhalb des vorherbestimmten Bereichs wechselt. Verzögerungsmodelle zweiter und dritter Ordnung und ähnliche haben Charakteristiken, die im wesentlichen ähnlich denen des Verzögerungsmodells erster Ordnung sind. Daher ist es möglich, einen Bremskraftgradienten aus dem Wert der charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz abzuschätzen, indem die Radcharakteristik mit dem Verzögerungsmodell niedrigerer Ordnung angenähert wird und die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz abgeschätzt wird.

**[0018]** Der Bremskraftgradient, wenn eine Bremskraft auf den Reifen wirkt, und ein Antriebskraftgradient, wenn eine Antriebskraft auf den Reifen wirkt, sind beides physikalische Größen, welche die Schlupfrigkeit zwischen dem Reifen und der Straßenoberfläche wiedergeben. Ebenso sind der Gradient der Bremskraft und der Gradient der Antriebskraft physikalische Größen, die dem  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche entsprechen, der den Reifengriffigkeitszustand wiedergibt. Demgemäß kann jeder von diesen Gradienten wie der Bremskraftgradient, der ein Gradient einer Tangente einer Kurve ist, die eine Beziehung zwischen einem Schlupfverhältnis (oder einer Schlupfgeschwindigkeit) und einer Bremskraft wiedergibt, der Antriebskraftgradient, der ein Gradient einer Tangente einer Kurve ist, die eine Beziehung zwischen einem Schlupfverhältnis (oder einer Schlupfgeschwindigkeit) und einer Antriebskraft wiedergibt, und einem  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche, der ein Gradient einer Tangente einer Kurve ist, die eine Beziehung zwischen einem Schlupfverhältnis (oder einer Rutschgeschwindigkeit) und einem  $\mu$  der Straßenoberfläche wiedergibt, als eine physikalische Größe abgeschätzt werden, welche die Schlupfrigkeit zwischen dem Reifen und der Straßenoberfläche wiedergibt.

**[0019]** Die vorliegende Erfindung wurde ausgehend vom oben beschriebenen Grundsatz gemacht. Eine erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst: einen Raddrehzahlsensor zum Erfassen der Raddrehzahl und zur Ausgabe eines Raddrehzahlsignals; einen Abschnitt zum Abschätzen einer charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz, um auf der Grundlage des Raddrehzahlsignals eine charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz abzuschätzen, die eine Folgefrequenz von Übertragungscharakteristiken von einer Straßenstörung an die Raddrehzahl wiedergibt; und einen Abschnitt zum Abschätzen einer physikalischen Größe, um aus der abgeschätzten charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz eine physikalische Größe abzuschätzen, die einen Straßenzustand wiedergibt.

**[0020]** Eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst: einen Raddrehzahlsensor zum Erfassen der Raddrehzahl und zur Ausgabe eines Raddrehzahlsignals; einen Abschnitt zum Abschätzen einer charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz, um auf der Grundlage des Raddrehzahlsignals eine charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz abzuschätzen, die einen Unterschied zwischen einer charakteristischen Größe in einem Niederfrequenzbereich und einer charakteristischen Größe in einem Hochfrequenzbereich, der höher ist als der Niederfrequenzbereich, in einem Verstärkungsschaubild wiedergibt, das eine Frequenzantwort der Übertragungscharakteristiken von einer Straßenoberflächenstörung an die Raddrehzahl wiedergibt; und einen Abschnitt zum Abschätzen einer physikalischen Größe, um aus der abgeschätzten charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz eine physikalische Größe abzuschätzen, die einen Straßenzustand wiedergibt.

**[0021]** Eine dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst: einen Raddrehzahlsensor zum Erfassen einer Raddrehzahl und zur Ausgabe eines Raddrehzahlsignals; einen Abschnitt zum Abschätzen einer charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz, um auf der Grundlage des Raddrehzahlsignals eine charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz abzuschätzen, die eine Folgefrequenz einer Übertragungscharakteristik von einer Straßenstörung an die Raddrehzahl wiedergibt; und einen Abschnitt zum Abschätzen ei-

ner physikalischen Größe, um aus der abgeschätzten charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz eine physikalische Größe abzuschätzen, die einen Straßenzustand wiedergibt. In der dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gibt die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz in einer Übertragungscharakteristik von einer Straßenoberflächenstörung zur Raddrehzahl, die an ein Modell niedriger Ordnung angenähert ist, eine Knickpunktfrequenz wieder, die eine Frequenz ist, an welcher der Verstärkungsfaktor von einem Wert in einem vorherbestimmten Bereich in einem Verstärkungsschaubild, das eine Frequenzantwort des angenäherten Modells niedriger Ordnung auf der Grundlage des Raddrehzahlsignals wiedergibt, auf einen Wert außerhalb des vorherbestimmten Bereichs wechselt.

**[0022]** Eine vierte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst: einen Raddrehzahlsensor zum Erfassen einer Raddrehzahl und zur Ausgabe eines Raddrehzahlsignals; einen Abschnitt zum Abschätzen einer charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz, um auf der Grundlage des Raddrehzahlsignals eine physikalische Größe als eine charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz für jeden einer Vielzahl von Frequenzbereichen abzuschätzen, in die ein Verstärkungsschaubild unterteilt ist, das eine Frequenzantwort der Übertragungscharakteristiken von einer Straßenoberflächenstörung an die Raddrehzahl wiedergibt; und einen Abschnitt zum Abschätzen einer physikalischen Größe, um aus der Vielzahl der abgeschätzten charakteristischen Größen der Raddrehzahlfrequenz eine physikalische Größe abzuschätzen, die einen Straßenzustand wiedergibt.

**[0023]** Das Verstärkungsschaubild ist ein Schaubild, das die Beziehung zwischen einer Frequenz und einer Verstärkung wiedergibt, die durch ein Verhältnis einer Ausgangsamplitude (einer Amplitude von Zeitseriendaten einer Raddrehzahl) zu einer Eingangsamplitude (einer Amplitude der Straßenoberflächenstörung) wiedergegeben wird. Ein Sensor, der die Raddrehzahl in einem vorherbestimmten Abtastzeitabschnitt erfasst und Zeitseriendaten der Raddrehzahl ausgibt, kann als der Raddrehzahlsensor genutzt werden.

**[0024]** In der dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann als das Modell niedriger Ordnung ein Verzögerungsmodell erster Ordnung oder ähnliches genutzt werden, aber das Verzögerungsmodell erster Ordnung ist vorteilhaft.

**[0025]** In jeder der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird eine physikalische Größe, welche die Schlupfrigkeit zwischen dem Reifen und der Straßenoberfläche wiedergibt, als eine physikalische Größe abgeschätzt, die den Straßenoberflächenzustand wiedergibt, wobei die Tatsache genutzt wird, dass die Gesamtfrequenzcharakteristik (Wellenform) in einem Frequenzband um 40 Hz, in dem eine Reifendrehungsresonanz erzeugt wird, sich zu einer höheren Frequenz bewegt, wenn der Bremskraftgradient größer wird. Demgemäß kann eine physikalische Größe abgeschätzt werden, die den Zustand der Straßenoberfläche in einem Bereich niedrigen Schlupfs, der einen Bereich gleichförmigen Fahrens einschließt, wiedergibt.

#### Ausführungsbeispiel

**[0026]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

**[0027]** Fig. 1 ein Blockschaubild, das ein dynamisches Modell eines Radresonanzsystems der vorliegenden Erfindung zeigt;

**[0028]** Fig. 2 ein Schaubild, das die Beziehung zwischen der Bremskraft und der Schlupfgeschwindigkeit zeigt;

**[0029]** Fig. 3 ein Verstärkungsschaubild, das eine Frequenzantwort der Raddrehzahl auf Straßenoberflächenstörungen im vollständigen Modell zeigt;

**[0030]** Fig. 4 ein Blockschaubild, das eine erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

**[0031]** Fig. 5 einen Ablaufplan, der einen Algorithmus zum Abschätzen eines Frequenzbands in der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

**[0032]** Fig. 6 ein Verstärkungsschaubild, das Frequenzantworten der Raddrehzahl auf Straßenoberflächenstörungen in einem Verzögerungsmodell erster Ordnung zeigt;

**[0033]** Fig. 7 ein Schaubild, das eine Beziehung zwischen dem Frequenzband und dem Bremskraftgradienten

ten zeigt;

[0034] **Fig. 8** die Verlagerung eines Reifens;

[0035] **Fig. 9** ein Schaubild, um abgeschätzte Werte und tatsächliche Werte der Bremskraft während des Vorwärtsbremsens bzw. forcierten Bremsens zu vergleichen;

[0036] **Fig. 10** ein Schaubild, um abgeschätzte Werte und wahre Werte des Bremskraftgradienten während des Vorwärtsbremsens bzw. forcierten Bremsens zu vergleichen;

[0037] **Fig. 11** ein Blockschaubild, das einen Abschnitt zum Abschätzen einer charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz nach einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0038] **Fig. 12** ein Blockschaubild, das einen Abschnitt zum Abschätzen einer charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz nach einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0039] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben. In einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine Übertragungscharakteristik von Straßenoberflächenstörungen auf die Raddrehzahl durch ein Verzögerungsmodell erster Ordnung angenähert, eine Knickpunktfrequenz (Bandfrequenz) wird aus der Frequenzantwort des Verzögerungsmodells erster Ordnung auf der Grundlage von Zeitseriendaten der Raddrehzahl abgeschätzt, und ein Bremskraftgradient wird aus der abgeschätzten Knickpunktfrequenz abgeschätzt.

[0040] Wie in **Fig. 4** gezeigt, umfasst die vorliegende Ausführungsform einen Raddrehzahlsensor 30, einen Abschnitt 32 zum Abschätzen einer Knickpunktfrequenz und einen Abschnitt 34 zum Abschätzen eines Bremskraftgradienten. Der Raddrehzahlsensor 30 dient dazu, eine Raddrehzahl in einem vorherbestimmten Abtastzeitabschnitt zu erfassen und Zeitseriendaten der Raddrehzahl als ein Raddrehzahlsignal auszugeben. Der Abschnitt zum Abschätzen einer Knickpunktfrequenz 32 dient dazu, eine Knickpunktfrequenz (eine charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz) abzuschätzen, die eine Frequenz ist, bei der sich die Verstärkung von einem konstanten Wert (einem Wert in einem vorherbestimmten Bereich) in einem Verstärkungsdiagramm, das eine Frequenzantwort eines Modells niedrigerer Ordnung wiedergibt, welches eine Übertragungscharakteristik von Straßenoberflächenstörungen an die Raddrehzahl annähert, auf einen Wert außerhalb des vorherbestimmten Bereichs ändert. Der Abschnitt 34 zum Abschätzen eines Bremskraftgradienten dient dazu, einen Bremskraftgradienten mit Bezug auf die abgeschätzte Knickpunktfrequenz auf der Grundlage der Abbildung abzuschätzen, die eine Beziehung zwischen dem Bremskraftgradienten und der Knickpunktfrequenz zeigt und vorab gespeichert ist.

[0041] In der vorliegenden Ausführungsform kann der Abschnitt 34 zum Abschätzen eines Bremskraftgradienten mit einem ABS-Steuerabschnitt verbunden werden, um ein Betriebssignal für eine ABS-Steuerung für jedes Rad auf der Grundlage des Bremskraftgradienten zu berechnen, der vom Abschnitt 34 zum Abschätzen eines Bremskraftgradienten abgeschätzt wird, und mit einem ABS-Steuerventil zum Betreiben eines Bremsdrucks für jedes Rad auf der Grundlage des Betriebssignals, das durch den ABS-Steuerabschnitt berechnet wird, um die ABS-Steuerung durchzuführen.

[0042] In **Fig. 4** wird ein Aufbau für ein einzelnes Rad gezeigt. Für ein Fahrzeug mit einer Vielzahl von Rädern wie ein vierrädriges Fahrzeug wird der Aufbau nach **Fig. 4** für jedes der Räder vorgesehen.

[0043] Der Abschnitt zum Abschätzen der Knickpunktfrequenz nach der vorliegenden Ausführungsform erkennt eine Knickpunktfrequenz eines Verzögerungsmodells erster Ordnung unter Nutzung einer Methode kleinster Quadrate mit einer Annahme, dass eine weiße Störung bzw. ein weißes Rauschen, d.h. eine Störung, die alle Frequenzen enthält, von der Straße auf den Reifen wirkt.

[0044] **Fig. 5** zeigt einen Algorithmus zum Erkennen der Knickpunktfrequenz, und **Fig. 6** ist ein Verstärkungsdiagramm des Verzögerungsmodells erster Ordnung, das mit der Knickpunktfrequenz verbunden ist, die durch den Algorithmus in **Fig. 5** erkannt wird, wenn eine weiße Störung auf das vollständige Radmodell der **Fig. 1** angewendet wird.

[0045] Zunächst wird der Algorithmus zum Erkennen der Knickpunktfrequenz mit Bezug auf **Fig. 5** beschrieben. Im Schritt 100 werden Daten aufgenommen, welche die Zeitseriendaten der Raddrehzahl sind, die vom Raddrehzahlsensor erfasst werden und zu denen die weiße Störung addiert wird, und dann im Schritt 102 einer

Vorverarbeitung unter Nutzung eines Butterworth-Filters zweiter Ordnung unterzogen, beispielsweise eines Filters, der einen 2 Hz-Hochpassfilter und einen 20 Hz-Tiefpassfilter aufweist. Gleichförmige Komponenten der Beschleunigung des Rads können eliminiert werden, indem das Raddrehzahlsignal in den Hochpassfilter eingegeben wird, um eine Hochpassfilterung durchzuführen, und ein Glättungsprozess wird für das Raddrehzahlsignal durch das Tiefpassfiltern durchgeführt.

**[0046]** Im folgenden Schritt **104** werden die Zeitseriendaten der Knickpunktfrequenz von den vorverarbeiteten Zeitseriendaten der Raddrehzahl unter Nutzung der Echtzeitmethode kleinster Quadrate abgeschätzt. Zuerst werden die Zeitseriendaten der Raddrehzahl, die durch den Raddrehzahlsensor **30** auf diskreter Basis im Abtastzeitabschnitt  $\tau$  erfasst werden, im Schritt **102** der Vorverarbeitung durch den Filter unterzogen. Daher werden diese Zeitseriendaten der Raddrehzahl durch  $\omega[k]$  wiedergegeben ( $k$  gibt die Abtastzeiten auf der Grundlage des Abtastzeitabschnitts  $\tau$  als einer Einheit an und nimmt die Werte 1, 2 usw. an). Dann werden die nachstehenden Schritte 1 und 2 wiederholt. Somit werden die Zeitseriendaten der Knickpunktfrequenz aus den erfassten Zeitseriendaten der Raddrehzahl abgeschätzt.

[Schritt 1]

$$\phi[k] = \tau\{\omega[k-1] - \omega[k-2]\} \quad (2)$$

$$y[k] = -\omega[k] + 2\omega[k-1] - \omega[k-2] \quad (3)$$

**[0047]**  $\phi[k]$  in Gleichung 2 ist ein Wert, den man erhält, indem die Größe einer Änderung der Raddrehzahl in einem Abtastzeitabschnitt mit dem Abtastzeitabschnitt  $\tau$  multipliziert wird (d.h. eine physikalische Größe, die mit einer Änderung in der Raddrehzahl verbunden ist), und  $y[k]$  (eine physikalische Größe, die mit einer Änderung in einer Änderung in der Raddrehzahl verbunden ist) in Gleichung 3 ist eine Größe der Änderung in einem Abtastzeitabschnitt der Größe der Änderung (d.h.  $\omega[k-1] - \omega[k-2] - \omega[k] - \omega[k-1]$ ) der Raddrehzahl in einem Abtastzeitabschnitt ( $\omega[k-1] - \omega[k-2]$ ,  $\omega[k] - \omega[k-1]$ ).

[Schritt 2]

$$\theta[k] = \theta[k-1] + L[k](y[k] - \Phi[k]^T \cdot \theta[k-1]) \quad (4)$$

**[0048]** Hierbei sind

$$L[k] = \frac{P[k-1]\Phi[k]}{\lambda + \Phi[k]^T P[k-1]\Phi[k]} \quad (5)$$

und

$$P[k] = \frac{1}{\lambda} \left[ P[k-1] - \frac{P[k-1]\Phi[k]\Phi[k]^T P[k-1]}{\lambda + \Phi[k]^T P[k-1]\Phi[k]} \right] \quad (6)$$

**[0049]** Ein abgeschätzter Wert  $\theta$ , d.h. eine Knickpunktfrequenz, wird aus den vorstehenden rekursiven Formeln abgeschätzt.  $\lambda$  in den Gleichungen 5 und 6 gibt einen Vergesslichkeitskoeffizienten wieder, der den Grad der Löschung vorheriger Daten (z.B.  $\lambda = 0,98$ ) wiedergibt, und  $T$  gibt die Transponierung einer Matrix wieder.

**[0050]**  $\theta[k]$  in Gleichung 4 ist eine physikalische Größe, welche die Geschichte der physikalischen Größe wiedergibt, die mit der Änderung in der Raddrehzahl verbunden ist, d.h. der Radbeschleunigung, und die Geschichte der physikalischen Größe, die mit der Veränderung der Änderung der Raddrehzahl (der Änderung der Radbeschleunigung) verbunden ist.

**[0051]** Obwohl ein Beispiel der Abschätzung der Knickpunktfrequenz unter Nutzung des Echtzeitverfahrens kleinster Quadrate vorstehend beschrieben wurde, kann die Knickpunktfrequenz unter Nutzung anderer Echtzeitverfahren, wie des Verfahrens der Instrumentalvariable und ähnlicher, abgeschätzt werden.

**[0052]** **Fig. 6** zeigt ein Beispiel des Ergebnisses der Abschätzung der Knickpunktfrequenz im Verzögerungsmodell erster Ordnung, das wie vorstehend beschrieben abgeschätzt wird. Wie aus dem Verstärkungsschaubild nach **Fig. 6** zu erkennen ist, wird jede Verstärkung eines angenäherten Verzögerungsmodells erster Ord-



nung als eine Charakteristik erkannt, die durch eine gleichförmige Verstärkung in einem Schaubild eines vollständigen Radmodells läuft und eine Verstärkung an einem Eigenfrequenzpunkt (nahe 40 Hz) für jeden Bremskraftgradienten außer 300 Ns/m weitergibt. Die Resonanz der Aufhängung in Längsrichtung bei 15 Hz und die Resonanzcharakteristik der Drehvibration des Reifens bei 40 Hz werden als ein Ergebnis der Nutzung des Modells niedriger Ordnung nicht berücksichtigt. Wenn ein Bremskraftgradient klein ist (300 Ns/m), wird keine Resonanz beobachtet, weil kein Eigenfrequenzpunkt im Verzögerungsmodell erster Ordnung passiert wird, was anzeigt, dass die Schwingungscharakteristik des Verzögerungsmodells erster Ordnung und die Charakteristik des vollständigen Radmodells gut miteinander übereinstimmen. Der Grund dafür ist, dass ein Radverzögerungsbewegungsmodell in einem Bremsbereich nahe der Grenze, wo der Bremskraftgradient 300 Ns/m oder weniger beträgt, dominant ist, weil es dabei einen geringeren Einfluss der Resonanz der Aufhängung in Längsrichtung oder der Resonanz der Drehschwingung des Reifens gibt. Daher wird berücksichtigt, dass die Bewegung des Rads in diesem Bereich nahe der Grenze durch das nachstehende Radverzögerungsbewegungsmodell angenähert werden kann.

$$\ddot{v}_w = -\frac{kR_c^2}{J} \dot{v}_w + w \quad (7)$$

wobei  $v_w$  eine Raddrehzahl (m/s) wiedergibt;  $w$  eine Straßenoberflächenstörung wiedergibt;  $k$  einen Bremskraftgradienten (Ns/m) wiedergibt;  $R_c$  einen effektiven Radius des Reifens (m) wiedergibt;  $J$  das Trägheitsmoment eines Fahrzeugs wiedergibt; und ein Koeffizient einer ersten Ableitung von  $v_w$  die Knickpunktfrequenz wiedergibt.

**[0053]** Gleichung 7 zeigt, dass zwischen einer Knickpunktfrequenz  $\omega_0$  und einem Bremskraftgradienten im Grenzbereich die folgende Beziehung besteht.

$$\omega_0 = \frac{kR_c^2}{J} \quad (8)$$

**[0054]** In einem Bereich geringen Schlupfs kann die in **Fig. 7** gezeigte Beziehung durch Nutzung eines Verfahrens kleinster Quadrate abgeleitet werden. **Fig. 7** zeigt die Beziehung zwischen dem Bremskraftgradienten im vollständigen Radmodell und der Knickpunktfrequenz, die von den Raddrehzahldaten unter Addition weißer Störung erkannt wird. Die Einheit der Knickpunktfrequenzen in **Fig. 7** ist [rad/s]. Der Bremskraftgradient steigt monoton, wenn die Knickpunktfrequenz steigt. In einem Speicherabschnitt des Abschnitts 34 zum Abschätzen des Bremskraftgradienten wird eine Beziehung zwischen dem Bremskraftgradienten und der Knickpunktfrequenz, die durch **Fig. 7** wiedergegeben ist, als ein Schaubild gespeichert, und es ist daher möglich, durch Berechnen eines Bremskraftgradienten entsprechend der vom Abschnitt 32 zum Abschätzen der Knickpunktfrequenz auf der Grundlage des Raddrehzahlsignals unter Nutzung der Abbildung abgeschätzten Knickpunktfrequenz durch Abschätzen (Erkennen) der Knickpunktfrequenz den Bremskraftgradienten abzuschätzen.

**[0055]** Zum Vergleich der vorliegenden Ausführungsform mit der in der JP-A 2000-118375 beschriebenen Technik wird ein Bremskraftgradient abgeschätzt, indem die Beziehung verwendet wird, die durch die Gleichung 8 in der Druckschrift JP-A Nr. 2000-118375 wiedergegeben wird. In der vorliegenden Ausführungsform wird jedoch der Bremskraftgradient in einem Bereich abgeschätzt, der auf einen Bereich niedrigen Schlupfs ausgeweitet ist, der einen stationären Zustand umfasst.

**[0056]** Im Folgenden wird (im Vergleich mit experimentellen Ergebnissen) beschrieben, wie die Beziehung für das Bremsen mit einem konstanten Raddruck zwischen dem Schlupfverhältnis und dem Bremskraftgradienten, der in Übereinstimmung mit der vorliegenden Ausführungsform abgeschätzt wird (und der in einen Gradienten mit Bezug auf das Schlupfverhältnis umgewandelt wird), mit wahren Werten übereinstimmt. Diese wahren Werte erhält man durch Annähern einer Beziehung zwischen dem Schlupfverhältnis und der Bremskraft für schrittweises Erhöhen des Raddrucks unter Nutzung eines Bürstenmodells, in dem die Bewegung der Last einbezogen ist, und Berechnen des Bremskraftgradienten aus diesem Näherungsmodell.

**[0057]** Zunächst wird das Bürstenmodell beschrieben, in dem die Bewegung der Last berücksichtigt wird.

**[0058]** Wenn angenommen wird, dass die Verlagerung des Reifens  $\Delta R$  wie in **Fig. 8** gezeigt proportional zur Last  $N$  ist ( $\Delta R = k_2 N$ ), ist die Bremsensteifigkeit  $K_s$  wie nachstehend gezeigt proportional zur Last  $N$ .

$$K_s = k_{s0} N \quad (9)$$

[0059] Hier werden eine Bremskraft  $F_x$  und eine seitliche Kraft  $F_y$  wie folgt ausgedrückt.

$$\begin{aligned} F_x &= \mu N \cos(1 - \xi_s^3) \\ F_y &= \mu N \sin(1 - \xi_s^3) \end{aligned} \quad (10)$$

und

$$\xi_s = 1 - \kappa k_{s0} / (3\mu) \quad (11)$$

wobei  $\kappa$  einen kombinierten Schlupf wiedergibt.

[0060] Hierbei ist  $\mu$  ein Reibungskoeffizient der Straßenoberfläche. Wenn angenommen wird, dass  $\kappa_x$ ,  $\kappa_y$  und  $\tan\theta$  einen Schlupf in Längsrichtung, einen Querschlupf und eine Richtung des Schlupfs wiedergeben, stehen diese in den nachstehend gezeigten Beziehungen.

$$\kappa = \sqrt{(\kappa_x^2 + \kappa_y^2)}$$

$$\kappa_x = (u - R\omega) / (R\omega)$$

$$\kappa_y = K\beta v / (K_s R\omega)$$

$$\tan\theta = \kappa_y / \kappa_x$$

wobei  $R$  einen effektiven Radius eines Reifens wiedergibt,  $\omega$  eine Raddrehzahl (Winkelgeschwindigkeit) wiedergibt,  $u$  eine Geschwindigkeit in Längsrichtung wiedergibt,  $v$  eine Geschwindigkeit in Querrichtung wiedergibt. Wenn angenommen wird, dass die Last  $N$  proportional zur seitlichen Kraft  $F_x$  steigt, d.h. dass  $N = N_0 + k_N F_x$ , können die Bremskraft und die seitliche Kraft wie folgt ausgedrückt werden,

$$F_x = \mu N_0 \cos(1 - \xi_s^3) / (1 - \mu k_N \cos(1 - \xi_s^3)) \quad (12)$$

$$F_y = \mu N_0 \sin(1 - \xi_s^3) / (1 - \mu k_N \cos(1 - \xi_s^3)) \quad (13)$$

[0061] Die Fig. 9 und Fig. 10 zeigen Beziehungen zwischen Schlupfverhältnissen und geschätzten Bremskräften und zwischen Schlupfverhältnissen und geschätzten Bremskraftgradienten (umgewandelt in und gezeigt als Gradienten mit Bezug auf die Schlupfverhältnisse) zum Bremsen mit gleichmäßigem Raddruck auf einer Straße mit festgefahrener Schneedecke und auf einer vereisten Straße. Winterreifen ohne Spikes werden benutzt. Die Schlupfverhältnisse, geschätzten Bremskräfte und Bremskraftgradienten sind Durchschnittswerte für fünf Sekunden nach dem Beginn des Bremsens. Die durch gestrichelte Linien angezeigten wahren Werte erhält man durch Annähern der Beziehung zwischen den Schlupfverhältnissen und Bremskräften für schrittweise Erhöhungen in den Raddrücken unter Nutzung eines Bürstenmodells, bei dem die Lastbewegung in Gleichung 12 berücksichtigt wird, und Berechnen von Gradienten der Bremskräfte aus diesem Näherungsmodell.

[0062] Die Knickpunktfrequenz wird über die Raddrehzahl erkannt, den Bremskraftgradienten (Gradient der Bremskraft mit Bezug auf die Schlupfgeschwindigkeit) erhält man vom erkannten Knickpunktfrequenzwert unter Nutzung einer Abbildung (des Schaubilds) in Fig. 7, er wird weiterhin mit der Raddrehzahl multipliziert und wird als ein Bremskraftgradient mit Bezug auf das Schlupfverhältnis gezeigt.

[0063] Man kann feststellen, dass ein geschätzter Wert des Bremskraftgradienten, der in Übereinstimmung mit der vorliegenden Ausführungsform abgeschätzt wird, vom Bremsgrenzbereich, in dem der Bremskraftgradient klein ist, bis zum Bereich kleinen Schlupfs, wo der Bremskraftgradient vergleichsweise groß ist (nahe des Ursprungs), vergleichsweise gut mit dem Bremskraftgradienten übereinstimmt, der aus dem Bürstenmodell abgeleitet ist.

[0064] Im Folgenden wird eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. In der vorliegenden Ausführungsform wird ein Unterschied zwischen einem Schwingungspegel in einem Niederfrequenzbereich und einem Schwingungspegel in einem Hochfrequenzbereich, der höher als der Niederfrequenzbereich liegt, als eine charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz genutzt, um so den  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche abzuschätzen.

[0065] Wie in **Fig. 11** gezeigt, ist ein Abschnitt zum Abschätzen der Größe der Frequenzcharakteristik der Raddrehzahl nach der vorliegenden Ausführungsform wie folgt aufgebaut: Ein Abschnitt zur Berechnung einer charakteristischen Niederfrequenzgröße, der einen Bandpassfilter **40A** zum Herausfiltern eines Raddrehzahlsignals in einem Niederfrequenzbereich und einen ersten Abschnitt zur Berechnung des Schwingungspegels **42A** zum Berechnen eines Schwingungspegels aus dem Raddrehzahlsignal nach dem Filtern aufweist; ein Abschnitt zur Berechnung einer charakteristischen Hochfrequenzgröße, der einen Bandpassfilter **40B** zum Herausfiltern eines Raddrehzahlsignals in einem Hochfrequenzbereich und einen zweiten Abschnitt zur Berechnung des Schwingungspegels **42B** zum Berechnen eines Schwingungspegels aus dem Raddrehzahlsignal nach dem Filtern aufweist; und ein Abschnitt **44** zur Berechnung einer charakteristischen Größe zur Ausgabe eines Unterschieds zwischen einer charakteristischen Niederfrequenzgröße, die durch den Abschnitt zur Berechnung der charakteristischen Niederfrequenzgröße berechnet wird, und einer charakteristischen Hochfrequenzgröße, die durch den Abschnitt zur Berechnung einer charakteristischen Hochfrequenzgröße berechnet wird, um als die Größe der Frequenzcharakteristik der Raddrehzahl zu dienen. Ein (nicht in der Zeichnung gezeigter) Abschnitt zum Abschätzen des  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche, der dem Abschnitt **34** zur Abschätzung des Bremskraftgradienten der ersten Ausführungsform entspricht, ist mit dem Abschnitt **44** zur Berechnung der charakteristischen Größe verbunden.

[0066] Der Bandpassfilter **40A** des Abschnitts zur Berechnung der charakteristischen Niederfrequenzgröße ist so mit einer Übertragungsfrequenz ausgelegt, dass er Raddrehzahlssignale in einem Bereich einer vergleichsweise niedrigen Frequenz der Bewegung der Raddrehzahl überträgt. Der Bandpassfilter **40A** in der vorliegenden Ausführungsform ist dazu ausgelegt, Raddrehzahlssignale bei Frequenzen von 15 bis 30 Hz zu übertragen. Der Bandpassfilter **40B** des Abschnitts zur Berechnung der charakteristischen Niederfrequenzgröße ist so mit einer Übertragungsfrequenz ausgelegt, dass er Raddrehzahlssignale in einem Bereich einer vergleichsweise hohen Frequenz der Bewegung der Raddrehzahl überträgt. Der Bandpassfilter **40B** in der vorliegenden Ausführungsform ist dazu ausgelegt, Raddrehzahlssignale bei Frequenzen von 30 bis 50 Hz zu übertragen.

[0067] Der erste Abschnitt zur Berechnung (Erfassung) des Schwingungspegels **42A** quadriert das von dem Bandpassfilter **40A** übertragene Raddrehzahlssignal und gibt ein Signal aus, das einen Schwingungspegel in Dezibel anzeigt, um als die charakteristische Niederfrequenzgröße zu dienen. Der zweite Abschnitt zur Berechnung (Erfassung) des Schwingungspegels **42B** quadriert ein Raddrehzahlssignal, das vom Bandpassfilter **40B** übertragen wird, und gibt ein Signal aus, das einen Schwingungspegel in Dezibel anzeigt, um als die charakteristische Hochfrequenzgröße zu dienen.

[0068] Der Abschnitt **44** zur Berechnung der charakteristischen Größe gibt einen Unterschied zwischen der charakteristischen Größe der Niederfrequenz und der charakteristischen Größe der Hochfrequenz aus, der als die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz dient.

[0069] Wie vorstehend mit Bezug auf **Fig. 3** beschrieben, ist besonders in einem Fall nahe der Grenze oder einem ähnlichen Fall der  $\mu$ -Gradient der Straßenoberfläche (entsprechend dem Bremskraftgradienten in **Fig. 3**) vergleichsweise klein, die Frequenzcharakteristik der Raddrehzahl zeigt hohe Verstärkung im Niederfrequenzbereich und niedrige Verstärkung im Hochfrequenzbereich. Daher ist die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz, die den Unterschied zwischen der Verstärkung im Niederfrequenzbereich und der Verstärkung im Hochfrequenzbereich anzeigt, groß. Dagegen ist speziell in einem Fall gleichförmigen Reisens oder einem ähnlichen Fall der  $\mu$ -Gradient der Straßenoberfläche vergleichsweise groß, die Frequenzcharakteristik des Raddrehzahlsignals zeigt, dass die Verstärkung im Niederfrequenzbereich kleiner ist als die im Bereich, in dem der  $\mu$ -Gradient der Straßenoberfläche vergleichsweise klein ist. Zudem ist die Verstärkung im Hochfrequenzbereich nicht so viel kleiner, wenn man sie mit dem Bereich vergleicht, in dem der  $\mu$ -Gradient der Straßenoberfläche vergleichsweise klein ist, aus Gründen wie dem Auftreten von Drehresonanz des Reifens. Dies führt zu einer kleinen charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz. Daher sinkt die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz, die den Unterschied zwischen dem Schwingungspegel im Niederfrequenzbereich und dem Schwingungspegel im Hochfrequenzbereich anzeigt, wenn der  $\mu$ -Gradient der Straßenoberfläche steigt. Der  $\mu$ -Gradient der Straßenoberfläche kann aus der charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz abgeschätzt werden, indem diese Eigenschaft genutzt wird.

[0070] In der vorliegenden Ausführungsform speichert der Abschnitt zum Abschätzen des  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche vorab eine Abbildung, die eine Beziehung zwischen der charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz, welche die Differenz zwischen dem Schwingungspegel im Niederfrequenzbereich und dem Schwingungspegel im Hochfrequenzbereich anzeigt, und den  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche zeigt, indem die Eigenschaft genutzt wird, dass die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz sinkt, wenn der

$\mu$ -Gradient der Straßenoberfläche steigt, und schätzt den  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche aus der abgeschätzten charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz und der Abbildung ab.

**[0071]** Nachstehend wird eine dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. In der vorliegenden Ausführungsform werden Schwingungspegel in einer Vielzahl von Frequenzbereichen als charakteristische Größen der Raddrehzahlfrequenz genutzt, und ein  $\mu$ -Gradient der Straßenoberfläche wird abgeschätzt.

**[0072]** Wie in **Fig. 12** gezeigt, weist ein Abschnitt zur Berechnung der charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz der vorliegenden Ausführungsform eine Vielzahl von Bandpassfiltern **461**, **462**, ..., **466** und eine Vielzahl von Abschnitten zur Berechnung des Schwingungspegels **481**, **482**, ..., **486** auf, die mit den Ausgabenden der Bandpassfilter verbunden sind. Ein Abschnitt **50** zur Abschätzung des  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche, der durch ein neurales Netzwerk gebildet wird, ist mit der Vielzahl der Abschnitte zur Berechnung von Schwingungspegeln verbunden.

**[0073]** In der vorliegenden Ausführungsform ist der Abschnitt zur Berechnung der charakteristischen Größe, der in der zweiten Ausführungsform beschrieben wird, mit dem Abschnitt zur Berechnung der charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz verbunden. In der vorliegenden Ausführungsform sind die Übertragungsfrequenzbänder der Bandpassfilter jeweils sechs Frequenzbänder von 10 bis 20 Hz, 20 bis 30 Hz, 30 bis 40 Hz, 40 bis 50 Hz, 50 bis 60 Hz und 60 bis 70 Hz. Der Abschnitt zur Berechnung der charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz gibt einen Schwingungspegel für jedes der Vielzahl der Frequenzbänder (sechs Frequenzbänder) als die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz aus. Obwohl ein Beispiel der Nutzung eines Bandpassfilters zur Berechnung des Schwingungspegels für jedes Frequenzband für die vorliegende Ausführungsform beschrieben wird, können die Frequenzkomponenten unter Nutzung einer FFT berechnet werden.

**[0074]** Wie oben beschrieben, fällt im Fall eines kleinen  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche die Verstärkung von einer tiefen Frequenz ab, weil die Knickpunktfrequenz der Raddrehzahl gering ist. Im Fall eines großen  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche tritt bis zu einer hohen Frequenz keine Verringerung der Verstärkung auf, weil die Knickpunktfrequenz der Raddrehzahl hoch ist. Es ist daher möglich, einen  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche zu erkennen, indem die Schwingungspegel in jedem Frequenzbereich verglichen werden.

**[0075]** Der Abschnitt zum Abschätzen des  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche schätzt einen  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche aus den Schwingungspegeln in den Frequenzbändern als den charakteristischen Größen der Raddrehzahlfrequenz ab, indem das neurale Netzwerk genutzt wird und die Tatsache ausgenutzt wird, dass sich die Knickpunktfrequenz abhängig vom  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche ändert. Das neurale Netzwerk hat einen dreischichtigen Aufbau mit einer Eingabeschicht, einer Zwischenschicht und einer Ausgabeschicht. Das Netzwerk erhält Eingaben von den sechs Schwingungspegeln und schätzt drei Pegel des  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche ab. Lernen des neuronalen Netzwerks wird mit einem Rückwärts-Fortpflanzungsverfahren unter Nutzung von Frequenzcharakteristiken der Raddrehzahl unter drei  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche durchgeführt, d.h. hohe, mittlere und niedrige  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche. Somit lernt das neurale Netzwerk die Eigenschaft der Erhöhung der Knickpunktfrequenz, wenn der  $\mu$ -Gradient der Straßenoberfläche steigt, und ist daher fähig, einen  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche aus den Schwingungspegeln in den Frequenzbändern abzuschätzen.

**[0076]** Wie vorstehend beschrieben, ist die vorliegende Erfindung dadurch vorteilhaft, dass eine physikalische Größe, die einen Zustand einer Straßenoberfläche in einem Bereich niedrigen Schlupfs wiedergibt, der einen Bereich gleichförmiger Fahrt einschließt, abgeschätzt werden kann, weil eine physikalische Größe, die einen Straßenzustand wiedergibt, von einer charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz abgeschätzt wird, die eine Folgefrequenz einer Übertragungscharakteristik von einer Straßenstörung auf eine Raddrehzahl wiedergibt.

**[0077]** Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, dass eine physikalische Größe, die einen Zustand einer Straßenoberfläche in einem Bereich niedrigen Schlupfs wiedergibt, der einen Bereich gleichförmiger Fahrt einschließt, abgeschätzt werden kann, weil in einer Übertragungscharakteristik von einer Straßenoberflächenstörung an die Raddrehzahl, an die ein Modell niederer Ordnung angenähert wird, eine Knickpunktfrequenz in einem Verstärkungsdiagramm, das eine Frequenzantwort des angenäherten Modells niederer Ordnung wiedergibt, auf der Grundlage von Zeitseriendaten einer Raddrehzahl abgeschätzt wird und ein Bremskraftgradient aus der abgeschätzten Knickpunktfrequenz abgeschätzt wird.

**[0078]** Zudem ist die vorliegende Erfindung dadurch vorteilhaft, dass eine physikalische Größe, die einen Zu-

stand einer Straßenoberfläche in einem Bereich niedrigen Schlupfs wiedergibt, der einen Bereich gleichförmiger Fahrt einschließt, abgeschätzt werden kann, weil eine physikalische Größe wie eine charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz für jeden aus einer Vielzahl von Frequenzbereichen, in die ein Verstärkungsdiagramm unterteilt ist, das eine Frequenzantwort der Übertragungscharakteristiken von einer Straßenoberflächenstörung auf die Raddrehzahl wiedergibt, auf der Grundlage des Raddrehzahlsignals abgeschätzt wird, und eine physikalische Größe, die einen Straßenzustand wiedergibt, aus der Vielzahl der abgeschätzten charakteristischen Größen der Raddrehzahlfrequenz abgeschätzt wird.

**[0079]** Zusammenfassend leistet die Erfindung Folgendes:

Um einen Bremskraftgradienten in einem Bereich geringen Schlupfs abzuschätzen, der einen Bereich gleichförmiger Fahrt aufweist, wird eine Vorrichtung vorgesehen, die einen Raddrehzahlsensor zum Erfassen einer Raddrehzahl in einem vorherbestimmten Abtastzeitraum umfasst und Zeitseriendaten der Raddrehzahl als ein Raddrehzahlsignal ausgibt, einen Abschnitt zum Abschätzen einer Knickpunktfrequenz umfasst, um eine Knickpunktfrequenz in einem Verstärkungsschaubild abzuschätzen, das eine Frequenzantwort eines Verzögerungsmodells erster Ordnung wiedergibt, das eine Übertragungscharakteristik von Straßenoberflächenstörungen auf die Raddrehzahl annähert, und einen Abschnitt zum Abschätzen eines Bremskraftgradienten umfasst, um einen Bremskraftgradienten mit Bezug auf die abgeschätzte Knickpunktfrequenz auf der Grundlage der Abbildung abzuschätzen, die eine Beziehung zwischen dem Bremskraftgradienten und der Knickpunktfrequenz zeigt und vorab gespeichert ist.

### Patentansprüche

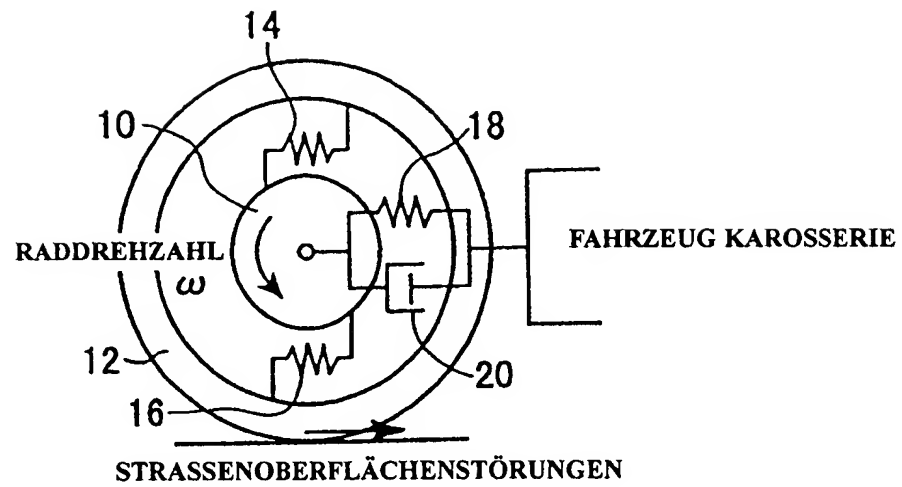
1. Vorrichtung zur Abschätzung eines Straßenoberflächenzustands, die aufweist:  
einen Raddrehzahlsensor zum Erfassen der Raddrehzahl und zur Ausgabe eines Raddrehzahlsignals;  
einen Abschnitt zum Abschätzen einer charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz auf der Grundlage des Raddrehzahlsignals, die eine Folgefrequenz von Übertragungscharakteristiken von einer Straßenstörung auf die Raddrehzahl wiedergibt; und  
einen Abschnitt zum Abschätzen einer physikalischen Größe aus der abgeschätzten charakteristischen Größe der Raddrehzahlfrequenz,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die physikalische Größe den Straßenoberflächenzustand wiedergibt.
2. Vorrichtung zur Abschätzung eines Zustands von Straßenoberflächen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz einen Unterschied zwischen einem charakteristischen Anteil in einem Niederfrequenzbereich und einem charakteristischen Anteil in einem Hochfrequenzbereich, der höher ist als der Niederfrequenzbereich, in einem Verstärkungsfaktorschaubild wiedergibt, das eine Frequenzantwort der Übertragungscharakteristiken von einer Straßenoberflächenstörung an die Raddrehzahl wiedergibt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz in einer Übertragungscharakteristik von einer Straßenoberflächenstörung an die Radgeschwindigkeit, welche an ein Modell niedriger Ordnung angenähert ist, eine Frequenz wiedergibt, bei der der Verstärkungsfaktor in einem Verstärkungsfaktorschaubild, das eine Frequenzantwort des angenäherten Modells niedriger Ordnung wiedergibt, von einem Wert in einem vorherbestimmten Bereich zu einem Wert außerhalb des vorherbestimmten Bereichs wechselt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei das Modell niedriger Ordnung ein Verzögerungsmodell erster Ordnung ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die physikalische Größe als eine charakteristische Größe der Raddrehzahlfrequenz für jeden einer Vielzahl von Frequenzbereichen abgeschätzt wird, in die ein Verstärkungsfaktorschaubild aufgeteilt ist, das eine Frequenzantwort der Übertragungscharakteristiken von einer Straßenoberflächenstörung an die Raddrehzahl wiedergibt.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die physikalische Größe, die den Straßenzustand wiedergibt, eine physikalische Größe ist, die die Schlupfrigkeit zwischen einem Reifen und einer Straßenoberfläche wiedergibt und entweder einen Bremskraftgradienten oder einen Antriebskraftgradienten oder einen  $\mu$ -Gradienten der Straßenoberfläche aufweist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 5, wobei die charakteristische Größe ein Schwingungspegel des Rad-

drehzahlsignals ist.

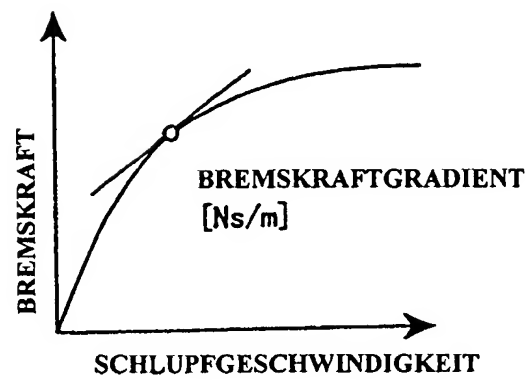
Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

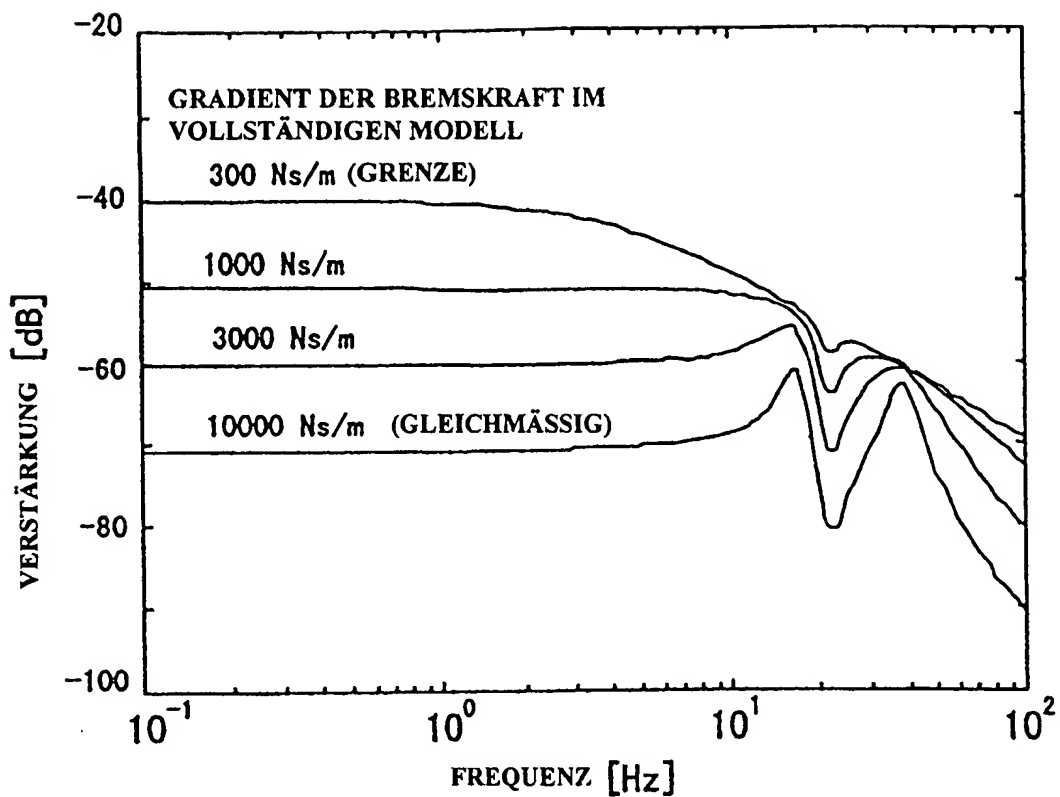
F I G. 1



F I G. 2



F I G. 3



FREQUENZANTWORT DER RADDREHZAHL AUF DIE  
STRASSEN OBERFLÄCHENSTÖRUNGEN

(BREMSKRAFTGRADIENT = 300 BIS 10 000 Ns/m)



FIG. 4

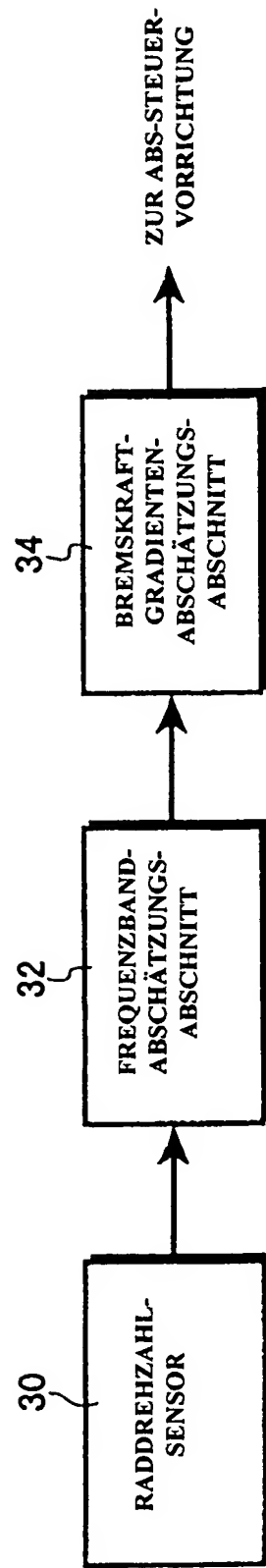
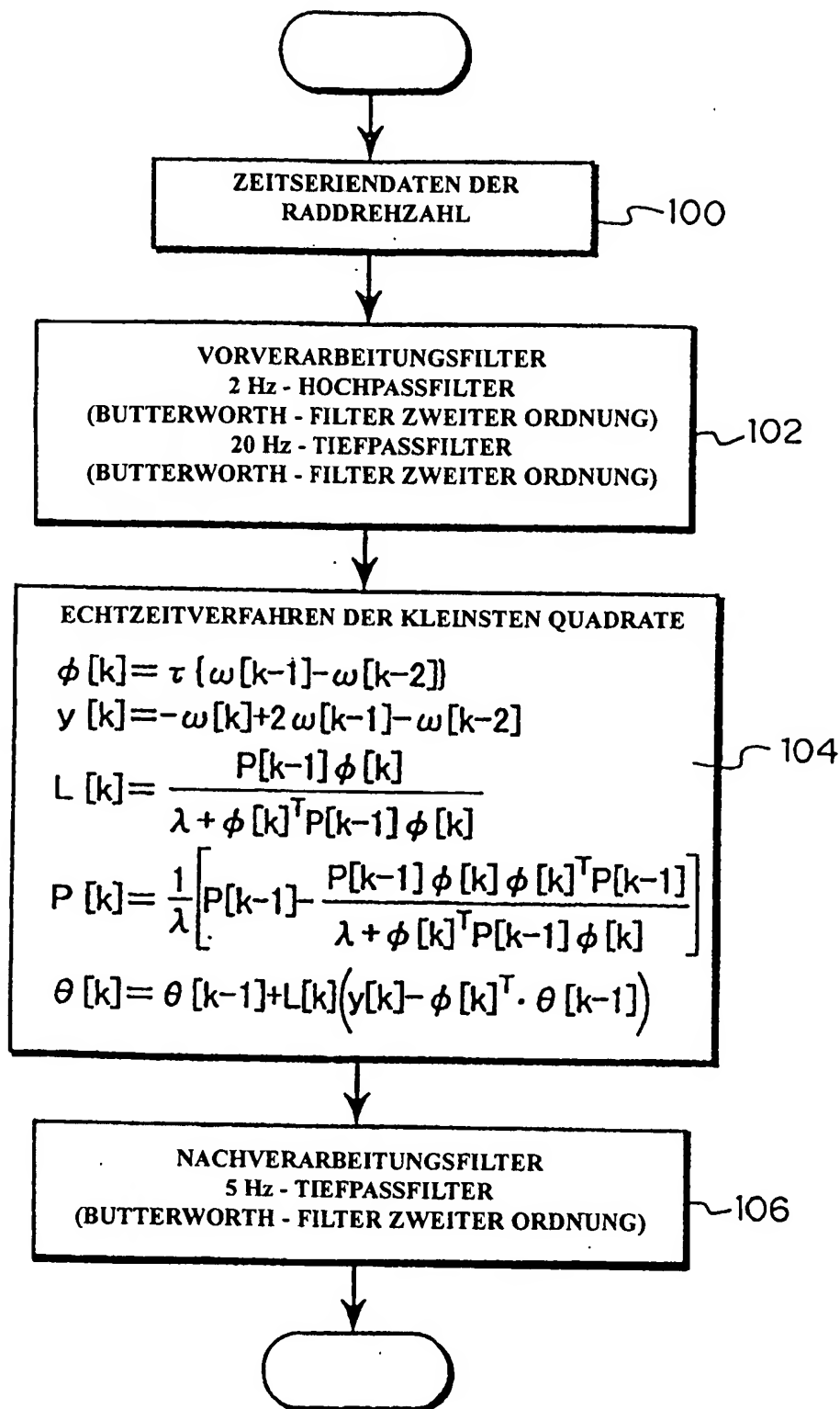
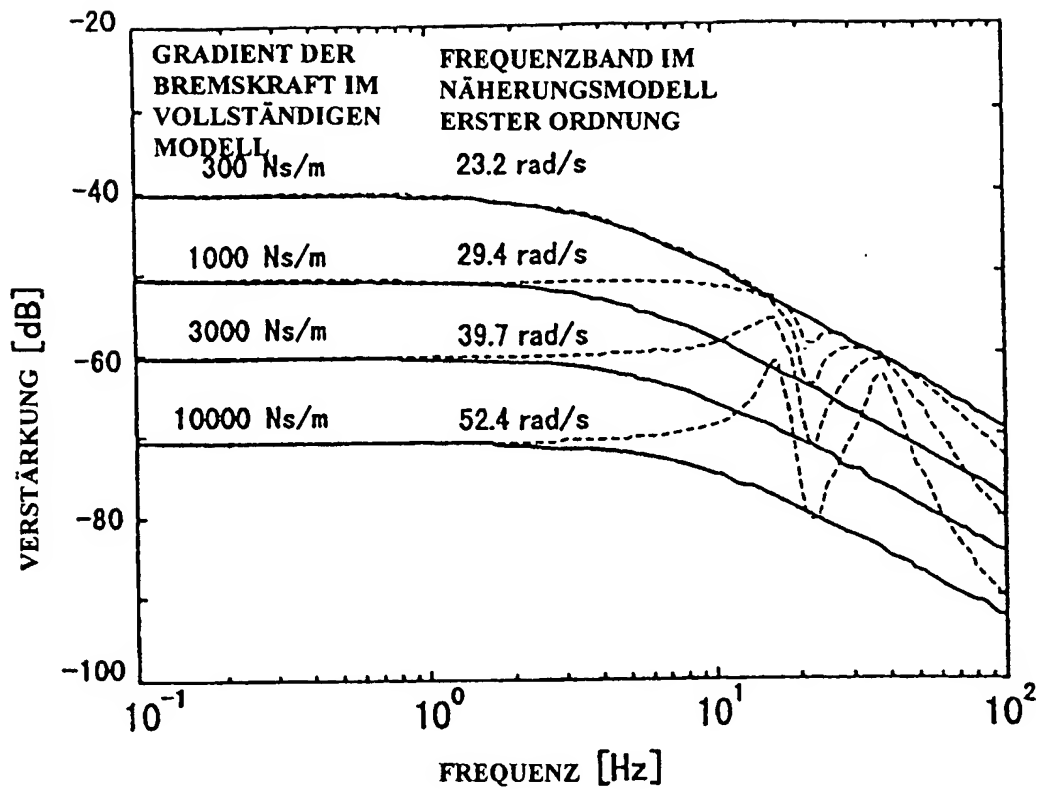


FIG. 5



F I G. 6



F I G. 7

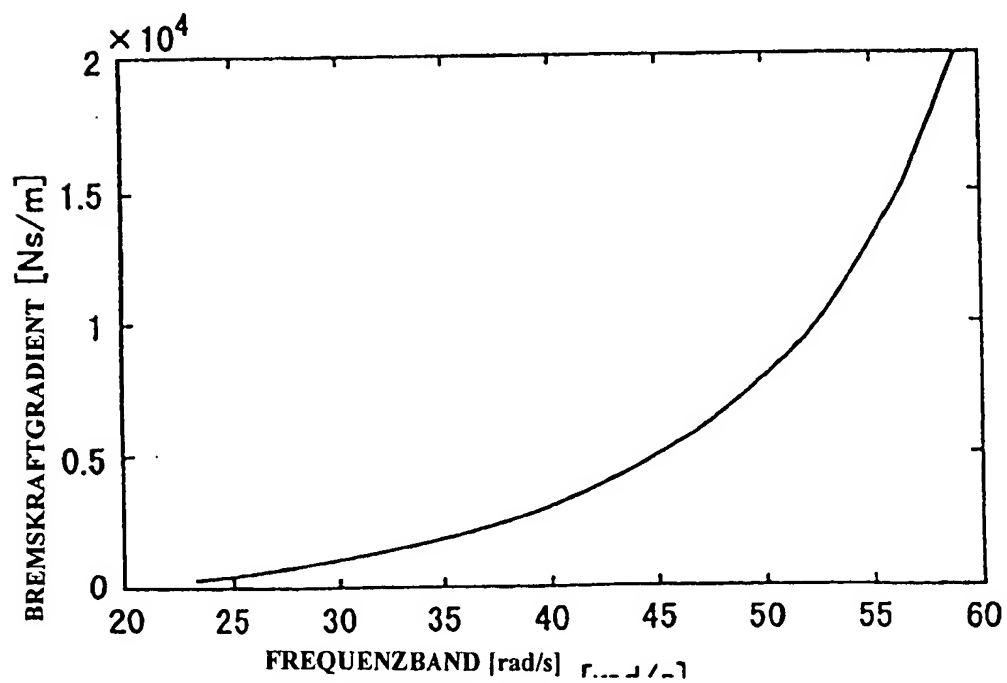


FIG. 8

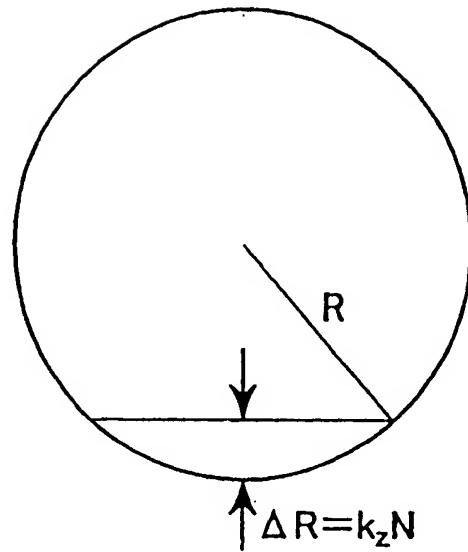


FIG. 9

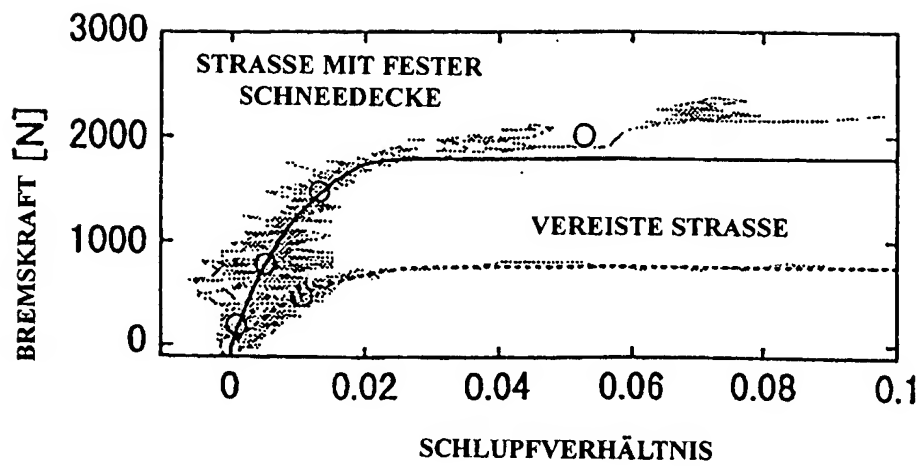


FIG. 10

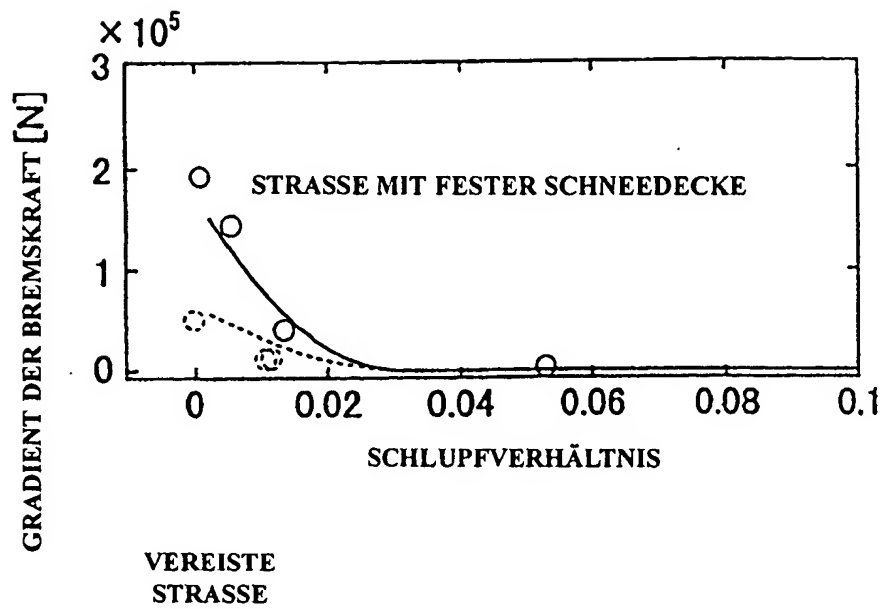


FIG. 11

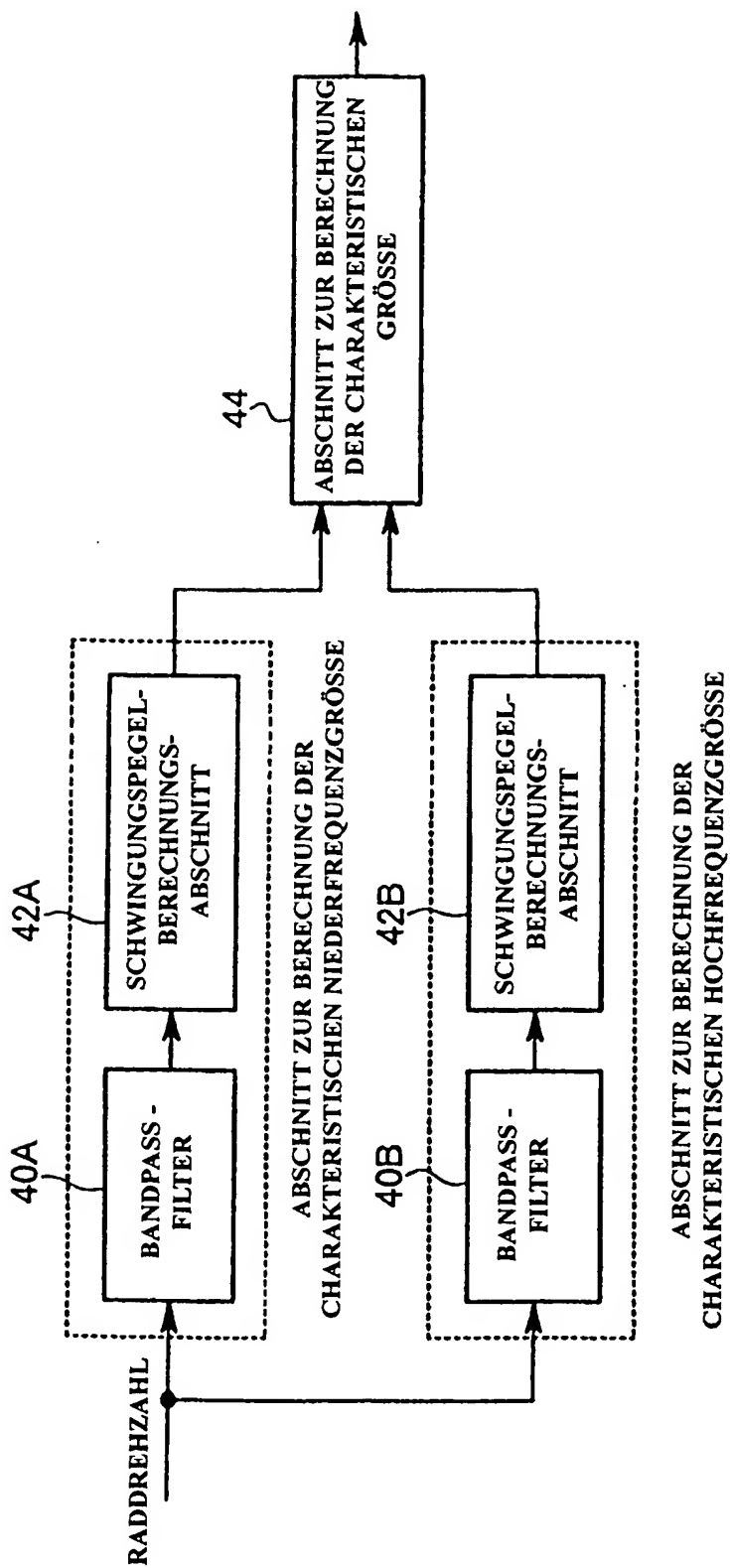


FIG. 12

